

Abstract This report describes about a rule for producing a structured description that represents each fingerprint and about a fingerprint matching method using thus produced structured descriptions. Our objective is to reproduce, in a form of a description, topological features uniquely associated with each fingerprint. For this objective, we assumed each fingerprint as an arrangement of connection components associated with papillary ridges and represented features uniquely associated with a fingerprint by a description comprising a structured set of adjacency relations between connection components, relative positions of papillary ridges constituting each connection component and shapes of respective papillary ridges. The structured description proposed in this report uses features associated with each shape, being independent of position coordinates and exemplified by features such as a ridge length and a ridge cord length, assigns numerical numbers to ridges and minutiae and describes, using thus assigned numbers, graphical features such as connection relations and adjacency relations among the ridges and minutiae so that the thus produced structural description is not affected by a distortion comprising those of various kinds such as rotational and sliding distortions associated with a fingerprint. The fingerprint matching method proposed here, on the other hand, makes ridge length comparison the basic tool for a match determination so that it becomes unnecessary to perform a position-matching process between registered and specimen fingerprint of each match-examined pair, which is required when performing a match determination according to any prior art method. We have, further, demonstrated fundamental capabilities of this approach by applying this method to some simple simulation fingerprints.

Key words: individual identification, fingerprint image, feature extraction, matching, image processing

THIS PAGE BLANK (USPTO)

論文

幾何学的特徴による指紋画像の構造記述と照合方式の提案

正員 山田 道夫¹ 准員 小館 亮之¹ 正員 富永 英敏¹

A Proposal of Description Method of Fingerprint Structure and Identification Algorithm Using Geometric Characteristics

Michio YAMADA¹, Member, Akihisa KODATE¹, Associate Member and Hideyoshi TOMINAGA¹, Member

あらまし 本論文では、指紋画像の構造記述方式とそれを用いた照合方式について述べる。提案する構造記述方式は、指紋のトポロジカルな特徴の抽出を考慮し、指紋画像を隣接成分が位置されたものとして、指紋の特徴を連結成分相互の隣接関係、連結成分内での指紋相互の位置関係および指紋自身の形状特徴に構造化して記述するものである。隣接の長さや隣接の方向の長さ等によって表される、位置関係に不依存な形状特徴を用いて、指紋とワニニューンによる指紋の類似度を評価し、それを用いて、指紋とワニニューンによる指紋の類似度を評価する。また、提案する照合方式は、指紋の長さによる対応付けを基本とし、従来の方式で不可欠であった指紋/入力指紋相互の類似による位置合わせ処理が不要となるものである。簡単なワニニューン実験を行い、提案方式の基本的な有効性を確認した。

キーワード 個人識別、指紋画像、特徴抽出、照合、照合処理

1. まえがき

指紋は、万人不同、発生不変の性質を有し、本人を識別する上で最も有効な身体的特徴の一つであると考えられており¹⁾、これまで数多くの研究および実用システムの開発が行われている。

指紋照合を利用したシステムは、入退室管理等における1対1の本人確認処理と、犯罪捜査等における1対Nの指紋照合処理が一般的である。これまでに提案されている本人確認のための指紋照合方式は、利用する特徴情報によって三つの方式に大別できる²⁾。それらは、隆線 (Ridge) の流れの方向を量子化した隆線方向データを用いる方法³⁾、隆線の方向あるいは数とワニニューン (Minutiae) の位置位置、方向からなる特徴データを用いる方法⁴⁾⁻⁶⁾ およびワニニューンを含む領域での指紋画像のバインディングを行う方法⁷⁾⁻⁹⁾ である。一方、指紋画像においては、リベソントと呼ばれるワニニューン間を横切る隆線の本数をコード化

したデータをインデックスとしてデータベース化し、それをもとに検索する方法が広く用いられている¹⁰⁾。

これら従来の方式は、抽出した指紋の入力画像を位置座標に依存した手法で構造解析をしており、登録指紋情報と入力指紋情報の位置ずれ (平行移動と回転等) が照合結果に大きな影響を及ぼすため、一定範囲内の探索による位置合わせ処理が必須となる。この問題に対し、従来のようなさまざまな工夫がなされ、ハードウェア機能と共にアルゴリズムの工夫や、指紋固定ガイドにより入力指紋の位置ずれを最小限に抑えるという対策がとられている。このような工夫を要する技術的制約条件は、システムの一般化を図るときにははたさなければならない。特に、ICカードの利用者認証を指紋を用いて行う場合、カードと入力画像の一体化¹¹⁾ のためにもこれらの制約条件がない手法が望まれる。

このような観点から、本論文の目的は、従来の提案されている探索による位置合わせ処理の手法をとらずに、位置ずれに不感応である指紋の構造記述方式およびそれを用いた照合方式を提案し、その実効性を報告することにある。まず、指紋画像の構造記述法とその抽出処理について述べ、照合アルゴリズムを説明

し、その方法でコンピュータシミュレーションにより評価した結果について述べる。

2. 構造特徴の記述とその抽出法

2.1 グラフによる指紋構造の記述

指紋画像をグラフにより表現することが提案されている¹²⁾。本論文では、ワニニューンとノード、隆線とリンクとを対応させることで指紋画像をグラフ的特徴で表現することに加え、その記述を形状の特徴を用いて一意的に生成する手法について述べる。

グラフ構造の表現法として、ノードとリンクの接続状態を示す接続行列 (Incident matrix) とノード同士の接続関係を示す隣接行列 (Adjacency matrix) が一般的に定義されている¹³⁾。これらはノードの接続関係に変化が生じなければ、拡大、縮小、回転によって変化する。また、1本の隆線を図1(a)に示すように、二つのワニニューンのみをその両端にもつ直線と定義すると、グラフにおけるノードおよびリンクは、それぞ

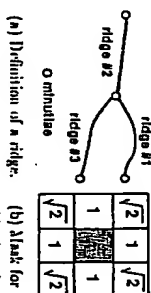


図1 隆線の定義と長さ測定のためのマスク

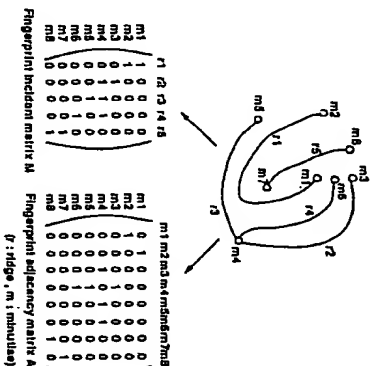


図2 指紋接続行列 M と指紋隣接行列 A

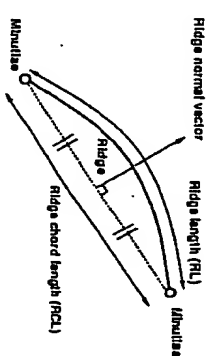


図3 隆線長、隆線弦長および隆線弦ベクトルの定義

れ指紋画像のワニニューンおよび隆線に対応すると考えられる。そこで、指紋画像に対して、指紋接続行列 $M=(m_{ij})$ とワニニューン隣接行列 $A=(a_{ij})$ を以下のように定義する。図2に M および A の一例を示す。

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ワニニューン } i \text{ が隆線 } j \text{ の一端である} \\ 0 & \text{その他} \end{cases}$$
$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ワニニューン } i, j \text{ が1本の隆線の両端である} \\ 0 & \text{その他} \end{cases}$$

指紋画像は形状の情報が存在しているため、上記の定義に基づいて生成されたグラフは、指紋の特徴の記述として不十分である。そこで、形状を記述する特徴量として、指紋画像の入力の向きや抽出の位置によって変動することが少ない特徴を用いるために、隆線の長さおよび隆線法線ベクトル (Ridge normal vector) を利用する。長さの定義には二つあり、一つは隆線長 (Ridge length, RL) で、もう一つは隆線弦長 (Ridge chord length, RCL) である。隆線長とは隆線の両端に位置するワニニューン間の隆線に沿った長さのことであり、細線化した指紋画像において各面素の4連結方向を長さ1、斜め方向を長さ $\sqrt{2}$ とし、図1(b)に示すワニニューンを用いて図素の接続関係から算出される。一方、隆線弦長は隆線の両端のワニニューンの直線距離と定義する。また、隆線法線ベクトルは、隆線の両端のワニニューンと結ぶ直線の midpoint から隆線を引き、その隆線と交差する方向へ向きをもたせたベクトルと定義する。これらの概念を図3に示す。

ある二つの指紋入力図形から、それが同一の指紋から採取されたことを判断する問題は、その入力図形をグラフの特徴で表現し、二つの独立した手段で記述されたグラフの部分的一致を判定するアルゴリズムの開発の問題と、図形の形状特徴を表現したグラフをもとにして、そのグラフから復元された二つの図形に對し

¹ 豊田大学工学部, 電気情報工学科, 東京
School of Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, 169 Japan

て回転、平行移動等を行って重ね合わせることによる、一致の度合を評価する手法の問題に分類して考えられる。この場合、回転の向き、平行移動の距離を見出す問題が主となる。

2.2 特徴情報の一意的生成法

指紋画像の特徴をグラフで表現した場合、グラフ構造を確定し、それを記述する指紋接続行列およびニューシヤン間接行列のブレード配列の仕方が、検索アルゴリズムにおける処理時間の短縮に重要である。これらの行列の要素の配列の順序を一定の規則に従っていることが意味をもつ。

そこで、ここでは、臨端長、臨端短長、臨端法線およびクトルで表される形状的特徴を利用し、臨端およびニューソヤに番号（それぞれRN、MIN）を付与することとして、位置すれに依存しない一定の特徴長を生じさせる。すなわち、臨端に対しては、臨端長の大きい順に番号を付ける（但し、等しい臨端長をもつ臨端が存在する場合）には、臨端短長の大きい順に番号を付ける。

一方、マニユーシャに対しては、小さい番号をもつ隣接の頭端をなすマニユーシャから順に番号を付ける。低し、1本の隣接は頭端に二つのマニユーシャをもつため、上記手順ではマニユーシャのペアに対して番号付けが行われるに過ぎない。そこで、隣接法線ベクトルが垂直に方向を向くように、回転により隣接を正規化した場合、左側のマニユーシャに対して若い番号も付与する。分岐点に対しては、最初に付与された番号を優先する。図4に隣接とマニユーシャに対する番号付け手順の概念を示す。

2.3 トポロジカル特徴を復元可能とする構造記述

方式

指紋隠蔽を忠誠化した画像は、指紋のトポジカンな特徴を十分含んでいる。ここでは、指紋凸跡画像の復元が可能であり、位相隠蔽を利用しない構造記述法について述べる。

描取装置撮画像の構造は、図5のように階層的に表現できる。すなわち、描取は複数の臨域の連綿成分(Connected component)から構成されており、連結成分内には、1本の臨域からなるものと、複数の臨域が分岐点により結合されたものが存在する。トポロジカル特徴の算出を考慮した記述法の条件として、連結成分内相互の位置関係の情報は連結成分が複数の臨域から構成される場合には、その中で閉じた臨域相互の位置関係の情報が必要となる。図4でわかるように、マニューシャと臨域の関係は電子回路の印刷直紋とよく似てい

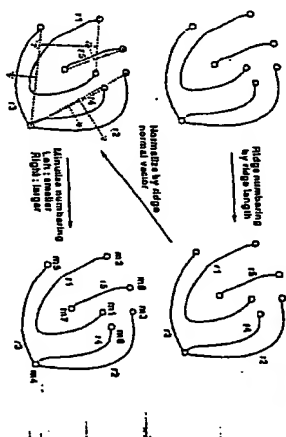


図4 産卵およびニメーションの番号付け手順の概念
Fig. 4 Concept of ridge and minuitac numbering process.

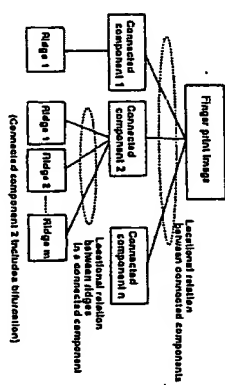


図 5 指紋画像の階層表現
Fig. 5 Description of fingerprint image structure

る。すなわち、マニユーンは端子であり、陸路は磁線に相当する。ここで扱う問題は、端子の各前と陸路位置の情報とそれを結ぶ区経路の情報の数現に相当する。マニユーンとの座標位置を図形で決定される座標を用いず、相対的な関係で見出すことがこの課題である。

a) 連結成分相対位置関係

図6に示すように、各マニュージャから、それが属す族類と重ならないように引いた直線が、他の族類と交差する点をマニュージャ-隣接点(Minutiae Neighbour Point, MNP)と定義し、 $M_{i,a}$ と表記する。境界部でないすべてのマニュージャには、その子として二つのマニュージャ-隣接点が存在する。添字 i はマニュージャ-隣接点の親マニュージャと同一の番号である。添字 a は $+a$ か $-$ をとり、 a は、親マニュージャを含む族類の法線ベクトルの正($+$)方向に、マニュージャ-隣接点が存在する場合に $+$ ($+$) 方向に、マニュージャ-隣接点を含む族類の法線ベクトルの正($+$)方向に、親マニュージャが存在する場合に $-$ ($-$) となる。但し、各マニュージャから引いた直線同士が交差する場合は、ねじれめ

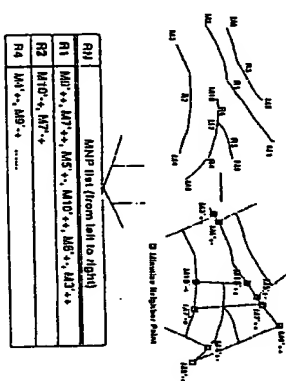


図 6 ヲニユーシヤ関接点の定義と登録関係例の記述例
Fig. 6 Definition of minutiae neighbor point and example of description of ridge relation data.

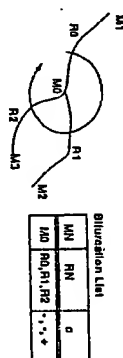


図7 隆線の連結成分内における位置関係の記述

生するため、必ず交差しない方向に引く。マニッシュとマニッシュ間接点の間隔は、第1時に隣接点が交差しないように、ゾムのように伸び縮みに決定される。以上のマニッシュ間接点に関する情報は、各路線ごとに隣接間情報として記述される。図6に隣接間情報の記述例を示す。

(b) 連結成分内の位置関係

連結成分内に分岐点が存在する場合は、その中で、隣接相互の位置関係を記述する必要がある。そこで、各分岐点に對して、それを端点とする一方の隣接を時計回りに順に数えたときの隣接の番号と方向を分岐点方向情報として記述する。方向とは隣接法線ベクトルの時計回り方向と一致している場合に、逆方向の場合に計回方向と一致している場合である。分岐点はいわゆるちようづかいとしての役割を果たし、隣接相互の角度は復元時に隣接が交差しないうように決定される。分岐点情報概念と記述例を図7に示す。

(c) 鹽線の形状特徴の記述

隆線の形状特徴は、隆線長、隆線段長に加え、両端マニッシュヤの方向角で分類したときの四性番号(RCN)を記述する。図8に、マニッシュヤの方向角を4通り

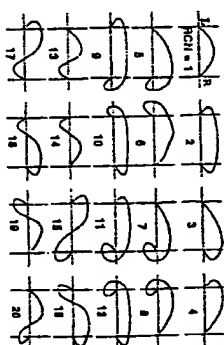


図 8 隘路形状の属性の分類

に分け、両端のベンチャーを通る直線上（以降、基準直線）を、隣接がたがひ1回交差する場合に属するという条件のもとで分類した場合、各属性の基準ベンチャーを示す。隣接法線ベクトルが軌道上方を向くように正規化した隣接を分類対象とすれば、図に示すように、隣接が基準直線と交差しないもの（5-12）、両端ベンチャーの外側で交差するもの（13-20）の計20ベンチャーの内側で交差するもの（1-4）、両端ベンチャーに分属される、なお、隣接が基準直線と2回以上交差する場合は、属性番号0（その他）を与えるものとする。

そして、陰腔形状の特徴を記述するために、有重点とツラクル血管線により陰腔を近似表現する方法⁽¹⁰⁾を用いる。すなわち、形状特徴パラメータとして、各陰腔の左端を原点、陰腔弦を y 軸とする直交座標系における、有重点 SP の差分座標 (dx, dy) とツラクル点における値 (dd) からなるツラクル情報 $(Bif(dx, dy, dd))$ を記述する。図9に、陰腔の形状特徴の記述例を示す。陰腔形状は上の二つの特徴に比較して、いわゆる針金のように固定的に記述される。

以上のように、描画画像の構造を階層型情報(ツム)、分枝点情報(ち、すなわち、おまけの階層形成特徴)(おまけ)により記述する。ツムはツムにおいて、ツムのようにつまみにより記述されている階層が、分枝点において一定の自由度で連結し、それぞれの階層が伸び縮みする具象なツムで結ばれて記述されるといふ考え方に従って記述する。

(1) 隆線長の最も短い隆線を一つ選び、隆線形状情報を用いて復元し、任意の位置に描画する。これを著目隆線と呼ぶ。

(2) 着目隆線の両端でニューシヤを線とするでニュー

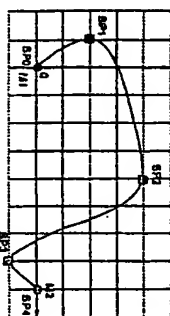


Fig. 9 An example of description of ridge shape characteristics.

シヤの接点を、隣接関係情報より求め、親ニューロンから隣接の平均距離を離れた位置に仮配置する。

(3) 着目領域上にニューロン接点を子としてつニューロンを、隣接関係情報より求め、着目領域上の任意の点から、隣接の平均距離を離れた位置に仮配置する。

(4) 仮配置されたニューロン接点およびニューロンを含む領域を、隣接関係情報により求め、隣接形状情報を用いて仮示し、仮示領域相互の交差がないように仮配置する。ここで、ニューロン接点を含む領域を仮配置する際は、その領域上の任意の点をニューロン接点とする。

復元手順(3)および(4)において、領域上にニューロン接点が2個以上ある場合には、ニューロン接点の位置はその順序が保たれるように決められる。

(5) 着目領域のニューロンが分岐点の場合、接続する領域を隣接形状情報を用いて仮示し、分岐点情報に従い仮配置する。

こうして復元された領域を、新たな着目領域として次の手順を繰り返すことで、指紋全体の領域構造を復元する。復元の途中で領域の交差が避けられない場合には、既に仮配置されている領域の中心の位置や長さおよび向きを調整する。復元手順3において仮配置されるニューロンの、配置の自由度を小さくすることで、仮示領域における修正処理の平均を少なくするためである。

また、このような手順で復元された指紋画像は、原画像と比較して、画質劣化は認められるものの、トポロ

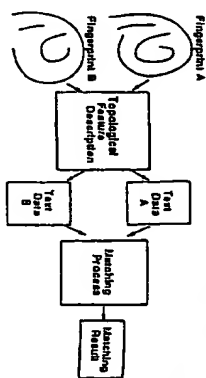


Fig. 10 Concept of identification by feature description data.

ジカルな特徴は保存されるため、目視確認のためには十分な画質であると考えられる。但し、シミュレーションによる復号画像の視覚的、定量的な評価は今後の課題にゆだねる。

3. 特徴記述情報による照合方式

3.1 照合方式の概念と手順の概要

図10に示すように、2.3で述べた特徴記述の情報を記述したデータ同士を比較して照合を行い、指紋画像の一致/不一致を判定する。照合処理は、隣接点および隣接形状による領域の対応付けを基本とし、対応づけられた領域の分布を指紋画像上で確認することにより行われ、以下に挙げる三つの処理で構成される。

- (1) 隣接点および隣接形状による領域の対応付け
- (2) 両端ニューロン接点の位置、ニューロン接点を含む領域相互の対応関係、領域の属性等による一致確認
- (3) 対応付けられた領域ペアに対し、上に挙げた特徴情報の一致を確認すること、隣接点の領域ペアを照らして、これらの特徴記述の例を図11に示す。図中、NRNはニューロン接点の位置、隣接の属性等を示す。照合に最適な特徴記述データの選定は今後の課題にゆだねる。

(3) 指紋図形上での対応領域の分布の確認
指紋検察処理においては、自動検察においてリストアップされた入力指紋と一致度の高い指紋の画像を目視により確認して最終的に一致する指紋を判定する必要があるため、図形として表記された領域指紋をディスプレイ上に表示することが要請される。本方式では、従来の方式による目視による一致/不一致の判断も可能である。例えば、図12に示すように、照合によって対応づけられた領域のみを、登録指紋から抜き出して表示するとき、入力指紋と登録指紋が一致している場

RN	RL	RC	LC	MN	NRN
1	1.2	1.0	1.2	4.8	1.1
2	1.3	1.1	1.3	5.0	1.2
3	1.4	1.2	1.4	5.2	1.3
4	1.5	1.3	1.5	5.4	1.4
5	1.6	1.4	1.6	5.6	1.5
6	1.7	1.5	1.7	5.8	1.6
7	1.8	1.6	1.8	6.0	1.7
8	1.9	1.7	1.9	6.2	1.8
9	2.0	1.8	2.0	6.4	1.9
10	2.1	1.9	2.1	6.6	2.0

Fig. 11 An example of fingerprint feature data.

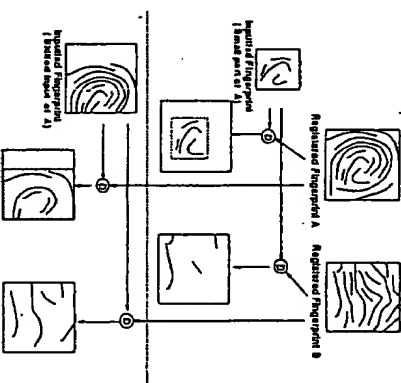


Fig. 12 Location of paired ridges on the fingerprint image.

合には、入力指紋の形状が登録指紋図形上に反映される。一方、不一致指紋の場合には、誤って対応付けられた領域が、入力指紋の形状とは無関係に表示されることになる。なお、図12は、入力指紋が一部のみ採取できた場合および位置ずれが大きい場合における、照合による領域の対応付けのイメージを示している。

3.2 提案方式の特徴

本方式では、入力指紋として指紋画像の一部のみが与えられる場合でも、同様の領域が抽出されれば、照合可能である。従って、本方式を本人認証処理に適応した場合には、必ずしも指紋を全体の一致を確認する必要はなく、例えば指紋中に領域が特に変化して抽出できる領域が存在する場合や他人と比較して特徴的な領域が存在する場合には、その領域のみの一致度を調べることで判定できる。あるいは、一致度を判定する

論文/技術的特徴による指紋画像の構造記述と照合方式の提案

領域を個人ごとに秘密に指定することで、暗証番号のような暗証情報として利用できる。

一方、検察処理に適用した場合には、検察用指紋が一部しか得られない場合でも、登録点および領域形状を検察用として比較することで、指紋データベースから容易にリストアップすることができ、検察された指紋には指紋全体が十分に得られる場合は少なく、本方式がもたらすメリットは大きい。また、従来の方式では検察用指紋としてのニューロンは専門的なオペレータの手作業により抽出されているが、本方式によれば、検察用としての領域点および領域形状を抽出する処理は、画像処理により自動化される。

4. シミュレーション実験

4.1 論理的検証のための照合手順

領域点および領域形状による領域の対応付けを基本とする照合方式の論理的な検証を行うために、シミュレーション実験を行った。但し、ここでは領域点および領域形状に加えて、トポロジカル特徴を特徴量であるニューロン間距離とニューロンの方向角を用いて、以下に示す三つのStepからなる照合手順により検証した。

- [Step. 1] 領域点および領域形状による領域の対応付け
- [Step. 2] ニューロンの相対的位置関係による照合
- [Step. 3] ニューロンの角度による照合

照合実験に必要な特徴情報は、領域点、両端ニューロン番号、ニューロンの位置座標およびニューロン角度である。但し、ニューロンの角度 θ は図13(a)に示すように、端点においてはエッジ方向と接線方向がなす角であり、分岐点においては接線方向とエッジ方向とがなす角である。角度はエッジ方向を基準として、時計回りに計る。ここで、ニューロンの位置座標は、...指紋内におけるニューロン相互の距離を求めたものであるため、座標による位置合せ処理は不要である点に注意する。また、照合方式と相違ない、両端のサイズが $480 \text{ pixel} \times 480 \text{ pixel}$ の場合、1指紋内に存在する領域点およびニューロン数は60、110個未満に大部分が抑えられるため、登録情報は約900 Byte未満となる。図13(b)に、実験で用いる特徴情報例を示す。図中、(x, y)はニューロンの位置座標を、[]内の文字は必要なビット数を示す。照合手順の概要を図14に示し、各Stepを以下で説明する。

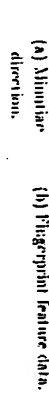
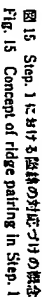


図13 アニマーションの足踏と英語に用いる



シヤの植類が一致する區域同エを以てつくる、



シヤの積頼が一致する隆線同士を対応づける。

(1)

$$\langle i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,n \rangle \quad (2)$$

とする

11

Figure 1 consists of two network diagrams, Pattern A and Pattern A', illustrating the relationships between four nodes: m1, m2, m3, and m4. In Pattern A, the connections are: m1 to m2 (10), m1 to m3 (23), m1 to m4 (14), m2 to m3 (20), m3 to m4 (21), and m2 to m4 (23). In Pattern A', the connections are: m1 to m2 (18), m1 to m3 (24), m1 to m4 (9), m2 to m3 (19), m3 to m4 (8), and m2 to m4 (23). The nodes are arranged in a diamond shape, with m1 at the top, m2 on the left, m3 on the right, and m4 at the bottom.

$$\begin{array}{ccccc} m_2 & 10 & 0 & 20 & 21 \\ m_3 & 23 & 20 & 0 & 21 \\ m_4 & 10 & 21 & 21 & 0 \end{array} \quad \begin{array}{ccccc} m_2' & 9 & 0 & 19 & 24 \\ m_3' & 23 & 19 & 0 & 8 \\ m_4' & 16 & 24 & 8 & 0 \end{array}$$

(3) 「ニューシヤ」政行列における一つ当りの「

図 16 Step. 2 における「ニューシ」+間距離による

で生じる小穴が画像処理により除去される。次に

(9) 選出されたメンバーが1人に対して

処理により抽出した隆線に対し、図1に示すマ

風景との境界部に存在するマニッシュヤは其のマニッシュヤ

—

子陳力

1000

—シヤ

結ぶ所

すゝ入

५३३

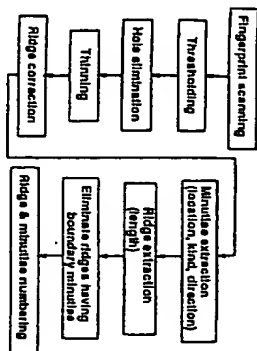


図 17 特徴データ抽出手順
Fig. 17 Feature data extraction process.



図 18 修正済偽線画素と無効線画素を削除した後の
Fig. 18 Automatic corrected images and false ridge removed image.

シヤではないため、これらの γ ニューシヤに接続する偽線は、無効線として除去される。その後、偽線は隣接画素の長い順に、 γ ニューシヤは接続する偽線の番号と法線ベクトルをもとに番号付けが行われる。修正済偽線画素とそこから無効線を除去した後の γ ニューシヤを④印で記したものを図 18 に示す。

4.3 しきい値の決定

照合実験に先立ってしきい値 thr , thr_d , thr_m , thr_k を決定する必要がある。そこで、これらのしきい値をパラメータとし、各照合段階における正対応率 ($P1 \sim P3$) を求めた。一組の同一指紋画素に対して、本来対応づけられるべき偽線ベアおよび γ ニューシヤベアの総数をそれぞれ $R0$, $M0$ 、照合の各段階で実際に正しく対応づけられた偽線数および γ ニューシヤ数を $R1$, $M2$, $M3$ とすると、 $P1 = R1/R0$, $P2 = M1/M0$ ($i=2, 3$) と表される。但し、これらの対応の正しさは目視により確認する。

3人の被験者が1指を3回入力した。計9枚の指紋画素から得られる、9組の同一指紋画素の組合せに対して、しきい値を可変として $P1$ を求めた。しきい値と

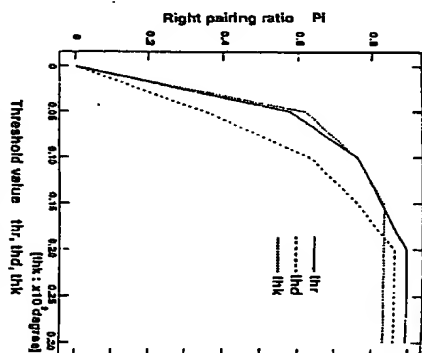


図 19 各照合段階における正対応率
Fig. 19 Rate of rightly paired ridge/minutiae in each verification step.

$P1$ の平均値の関係を図 19 に示す。しきい値を増加させるとき、 $P1$ が安定し始める付近が、誤対応の最も少ない場合であるため、そのときのしきい値を採用すること、各しきい値の最適値を決定する。但し、 thr_d を決定するにあたり $thr_m=0.6$ と固定した。また、 thr_d と thr_k は、それを求める時点までに決定できる最適なしきい値の値を用いた。図 19 から、 $thr=0.2$, $thr_d=0.2$, $thr_k=0.5$ とした。

4.4 実験手順

提案方式の照合精度を評価するために、以下の手順で照合実験を行った。

- (1) 指固定ガイド等の入力ごとに指を一定位置に固定する仕掛けは一切用いず、被験者が γ ニューシヤを見ながら、指紋が面からはみ出さないように注意して、 γ ニューシヤ上に指を置いてもらう。被験者 10 人に対して 10 回ずつ入力を繰り返し、計 100 枚の指紋画素を得る。
- (2) すべての指紋画素に対して、特徴量抽出処理を行い、偽線情報および γ ニューシヤ情報を抽出する。
- (3) 100 個の指紋画素から任意の二つを選ぶすべての組合せ 4,950 通り (同一指紋 450 組、異指紋 4,500 組) に対して、照合処理を行い、各照合段階において対応づけられた偽線数、 γ ニューシヤ数および照合率を求める。

4.5 照合結果と考察

4.5.1 対応偽線および対応 γ ニューシヤの分布
照合の各段階終了時点で対応づけられた偽線および

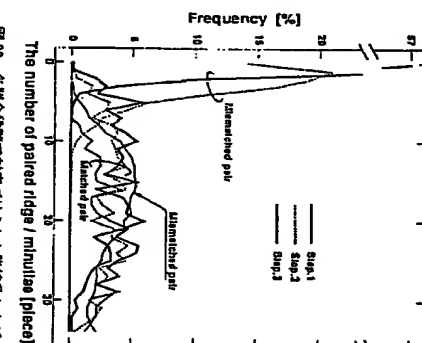


図 20 各照合段階で対応づけられた偽線数および
Fig. 20 Number of paired ridge/minutiae in each verification step.

γ ニューシヤ分布を図 20 に示す。照合 Step 1 終了時点における対応偽線数の分布は、同一指紋と異指紋でかなりの重なりがあるものの、そのピークは 10 本程度異なっており、同一指紋同士ではほとんど存在しない 7 本以下でも、異指紋は分布している。従って、この時点で対応づけられた偽線数が極端に少ない場合には、不一致として照合を終了することができるとわかった。

照合が進むに従い、異指紋同士における対応 γ ニューシヤ数は 0 付近に集中しており、対応 γ ニューシヤの振る舞い落ちの効果が確認できる。一方、同一指紋同士においても、対応 γ ニューシヤ数は少ない分布に推移するものの、その割合は異指紋同士の割合と比較してかなり小さい。Step 3 終了時点での異指紋同士の対応 γ ニューシヤ数は、大部分が 0~4 個に存在する一方、同一指紋同士の対応 γ ニューシヤ数の分布は 3~25 個と広い範囲にわたって存在しており、適切なしきい値を設定することで、高精度の照合が行えると推察できる。

4.5.2 照合結果と考察

指紋の一致、不一致を決定するしきい値 Thr_m に対する他人受理率 $E1$ および本人拒否率 $E2$ の関係を図 21 に示す。他人受理率は異指紋同士の照合において同一指紋と誤って判断される確率であり、本人拒否率は同一指紋同士の照合において異指紋と誤って判断される確率である。照合終了時において、例えば $E1=0.3$ [%] のときに $E2=8.7$ [%] ($7.3=5$) が得られ、方式の基本

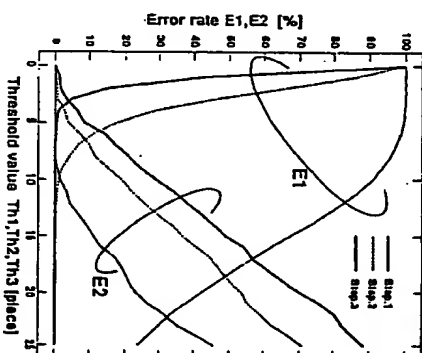


図 21 各照合段階における誤り率
Fig. 21 Error rate in each verification ($E1$, $E2$).

的な部分における有効性が確認された。

照合の主たる原因としては、提案方式が偽線の長さや距離を手取りとして、偽線や γ ニューシヤの対応付けを行うための押圧圧力や指の通り気などのさまざまな入力条件に依存して、入力ごとに異なった形で画面上に生じる偽線の歪みや切断が避けられる。検音を含む情報から図形情報のあいまい性の低減を図り、かつアルゴリズムの速度を向上させる方法を見出すことが今後の課題である。

5. おわりに

本論文では、入力画素の位置ずれに柔軟に対応可能な、指紋偽線画素の構造記述方式を提案し、特徴情報の種類とその抽出法に関する基本的な手法および概念を整理した。提案方式は、偽線や γ ニューシヤの接続関係等でおおわれるグラフ的特徴情報を、偽線長やその枝の長さ等でおおわれる形状的特徴を用いることで、入力の回転ずれや平行移動等の位置ずれに対して、変化の少ない特徴情報を得られることを特徴とする。また、提案する特徴記述方式を用いて、偽線長による偽線の対応付けを基本とする、探索的な位置合せ処理を必要としない照合方式を提案し、その基本的アルゴリズムの概念を整理した。そして、照合実験を通して、少ない被験者数ではあるが、提案方式のある程度の有効性を確認し、総合的なシステムの中に組み込むことの見通しを得た。本論文では、基本アルゴリズムの提案および概念の整理とその検証にとどまっており、より実

用的なシステムを作るためには、専用のハードウェアの開発が必要である。

本研究は、小松氏(平成1年博士)、Noel氏(昭和63年文部省ラサール大学留学生)の研究に基くものとすることができる。研究の初期の段階において、数々の照合アルゴリズムが提案、検討されてきた¹⁰⁾が、主にデータベース入力処理、基本的アルゴリズムに関しては、高橋氏(平成元年修士)、横里氏(平成3年修士)の成果¹⁰⁾に負うところが多い。本論文は指紋入力装置および指紋入力環境を整備されたのに伴い、それらを踏まえてアルゴリズムおよびデータベース処理を完成させた成果である。

文 献

- (1) Fitzgerald K.: "The quest for intruder-proof computer systems", IEEE Spectrum, 26, pp. 22-26 (Aug. 1989).
- (2) 加藤雅彦: "身体特徴を用いた個人照合装置, 指紋方式が先陣を切る", Nikkei Electronics, 464, pp. 171-177 (1989-01).
- (3) 所 敏, 星光雄, 神崎純樹: "新しいセキュリティシステムの開拓", エレクトロニクス, 9, pp. 38-43 (1988-09).
- (4) 本出直哉, 田中和彦, 松井 健: "個人識別用指紋照合装置のための指紋入力力法と照合アルゴリズムの改良", 電子情報, PRU88-36 (1988).
- (5) 佐川浩一, 横里文彦, 池田通樹: "低品質画像への対応能力を高めた個人識別用指紋照合装置", 電子情報(D-II), J72-D-11, 5, pp. 707-714 (1989-05).
- (6) 大前一博, 中島恭一, 鈴木隆夫, 田中由緒: "マイクロコンピュータを用いた指紋照合装置のデータベース化", 電子情報, 16, 4, pp. 215-222 (1987).
- (7) 井道誠吾, 矢野前弘, 戸口 伸, 山本文雄, 池田弘之, 福岡健史: "マイクロチップ指紋センサを用いた個人照合装置", 電子情報, PRU87-31 (1987).
- (8) 戸口 伸, 神谷敏彦, 冬倉道長: "データベース化方式による指紋照合装置", 電子情報, PRU88-43 (1988).
- (9) 浅井 健, 菊野伸久, 木地和夫: "ニューラルネットワーク特徴による自動指紋照合一照合装置", 電子情報(D), J72-D-2, 5, pp. 733-740 (1984-05).
- (10) 木下雅文, 清水良典, 小松勉久: "個人認証の運用環境とセキュリティレベルに関する考察", 1992年特許と情報セキュリティシンポジウム(SCIS92), 8C (1992).
- (11) Tenor D. K. and Zakay S. G.: "Fingerprint Identification Using Graph Matching", Pattern Recognition, 19, 2, pp. 113-123 (Feb. 1986).
- (12) R. J. Willson 著, 斎藤伸也, 西園田栄典: "グラフ理論入門", 近代科学社 (1985).
- (13) 山田道夫, 伊藤典男, 並木英樹: "指紋照合システムのための特徴抽出による高解像度画像処理方式", 電子情報(D-II), J76-D-11, 3, pp. 547-556 (1993-03).
- (14) 川越正弘, 横上翔男: "指紋パターンの特徴分類", 情報学コンピュータシンポジウム, CIVI-2 (1992-05).
- (15) 大仲興之: "平均および最小値に基づく自動しきい値決定法", 電子情報(D), J65-D, 4, pp. 349-356 (1980-04).
- (16) 田村秀行: "多面的特徴抽出とそのソフトウェア・システムに関する研究", 電子情報照合研究報告, 835, p. 42 (1983).
- (17) 加賀成樹, 中村 祐, 奥野治雄: "精選認識に基づく特徴照合の簡便なアルゴリズム", 電子情報(D), J65-D, 3, pp. 731-738 (1980-05).
- (18) 並木英樹, 小松勉久, Noel D. R. 高橋仁史: "河合泰吉による指紋照合の入力と照合手段の提案", 情報符号化システム, PCS87, 7-10 (1987-09).
- (19) 横里純一, 高橋仁史, 小松勉久, 並木英樹: "グラフを用いた指紋による自動個人識別", 1989年学術大会, D-483, (平成4年11月12日受付, 5年4月6日受付)



山田 道夫

昭和63年大・理工・電子通信卒, 早大理工大學院修士課程了, 早大理工大學院博士後期課程了, 工学, 在学中, 主に画像符号化, 画像処理における特徴抽出等の研究に従事, 画像符号化学会会員。



小松 高之

早大理工・理工・電子通信卒, 現在同大大学院修士課程在学中, 画像特徴の抽出と認識に関する研究に従事。



清水 英樹

昭和57年大・理工・電気通信卒, 昭和60年大大学院修士課程了, 同年電気公社電気通信研究所入所, 昭和66年大助教授, 昭和81年大教授, 早大理工回生奨励賞受賞, 主にISDN, テレマティクスサービスの研究に従事, 工学, 情報処理学会, 画像符号化学会, テレマティクス学会, IEEEを会員。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)